

ハザマ技術研究所 正会員 ○坂田英一  
ハザマ土木設計部 正会員 庄子 智

1. はじめに

R C 壁構造は耐震要素としての大きな期待を担い、その力学的特性の正しい把握は耐力、変形、エネルギー吸収能力という観点から極めて重要な課題であり、実験および解析的研究が盛んに行われてきた。一方、その方面の研究者が多数集中中、昨年ヒューストンで開催された地震によるコンクリートせん断に関する国際ワークショップにおいては、東京大学(岡村研究室)において開発された構成則およびそれらの成果を取り入れた非線形有限要素プログラム(WCOMR)の精度と実用性が広く認識された。本編は、現在多数実施されている平板および耐震壁の挙動に関する実験の内、典型的と思われる幾つかのものをシュミレート追跡することにより、統一的に当該プログラムによってそれらの実験に代替する可能性について報告するものである。

2. 材料強度

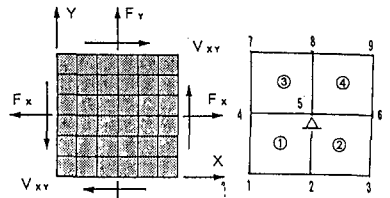
コンクリートの引張強度(割裂強度或いは $0.583f_c'^{2/3}$ )については、予備解析により供試体中で寸法効果、配合、養生、乾燥収縮の程度の差異による内部応力状態にどの程度依存しているかを推定する。圧縮強度については、高強度では載荷面の摩擦による拘束の影響を考慮し、有効係数として $200\text{kgf/cm}^2$ 以下で1.0、 $500\text{kgf/cm}^2$ 以上で0.8とし、その間で線形に変化するものとする。

3. 平板要素実験

これら一様応力下における実験に対しては、出雲らによって既に2軸応力状態における構成則レベルでその検証が終了している<sup>2)</sup>。ここでは、部材レベルでの解析のために数多くのパラメータ解析を経て簡略化された構成則の精度が、再確認された。即ち、引張、圧縮、せん断伝達の何れのモデル化も包絡線、内部曲線を含め、FEM解析レベルで精度良く表現されることが確認された。解析を行った供試体の一覧を表-1に、FEMにより実際にこれらの実験を再現するために著者らが行ったモデル化(要素分割、境界条件、荷重データ作成)を図-1に紹介した。解析結果の一例を実験結果と併せて図-2, 3に示す。

表-1 解析を行った平板要素実験一覧

試験体	変置	鉄筋比	$P_y$	$(\text{Mpa})$	$(\text{Mpa})$
Collins Vesicchio の実験	PV20	P/S	1.79	0.50	19.6
	PV21	P/S	1.79	0.73	19.5
	PV22	P/S	1.79	0.85	19.6
	PV23	P/S	1.79	0.97	19.6
	PV24	P/S	1.79	1.09	19.6
	PV25	P/S	1.79	1.21	19.6
	PV26	P/S	1.79	1.33	19.6
	PV27	P/S	1.79	1.45	19.6
	PV28	P/S	1.79	1.57	19.6
	PV29	P/S	1.79	1.69	19.6
Steven B's の実験	SEB	P/S	1.47	0.33	37.0
	SE9	P/S	1.47	1.00	44.2
	SE10	P/S	1.47	0.33	34.0



$$\begin{aligned}
 F_{1x} &= 1/4(Fx - Vxy); & F_{1y} &= 1/4(Fy - Vyx); & F_{2x} &= -1/2 \cdot Vxy; & F_{2y} &= 1/2 \cdot Fy \\
 F_{3x} &= -1/4(Fx + Vxy); & F_{3y} &= 1/4(Fy + Vyx); & F_{4x} &= 1/2 \cdot Fx; & F_{4y} &= -1/2 \cdot Vxy \\
 F_{5x} &= -1/2 \cdot Fx; & F_{5y} &= 1/2 \cdot Vxy; & F_{7x} &= 1/4 \cdot (Fx + Vxy); & F_{7y} &= -1/4 \cdot (Fy + Vyx) \\
 F_{8x} &= 1/2 \cdot Vxy; & F_{8y} &= -1/2 \cdot Fy; & F_{9x} &= 1/4 \cdot (-Fx + Vxy); & F_{9y} &= 1/4 \cdot (-Fy + Vyx)
 \end{aligned}$$

図-1 実験のモデル化

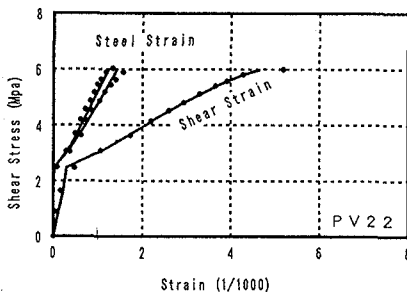


図-2 全ての材料モデルの影響を受ける試験体(PV22)による検証

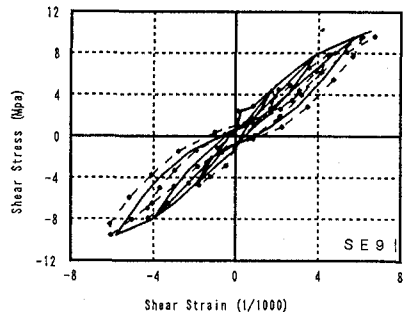


図-3 内部曲線の検証(SE9)

#### 4. 柱なし耐震壁

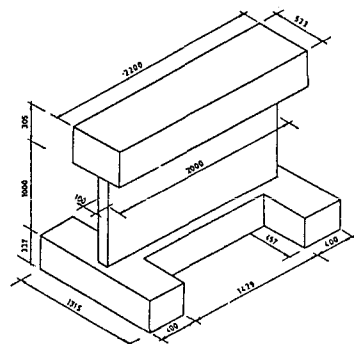
供試体としては、SaatciogluのLOW-RISE-WALLのせん断挙動に關する実験<sup>3)</sup>から選定した。これらは、壁部材の周辺拘束の状況という観点から、上述の平板要素実験と後述の通常の耐震壁との中間に位置すると考えられる。図-4に供試体諸元を、図-5に解析結果を実験結果と併せて表示した。解析は、荷重-変位曲線およびひびわれ発生状況など細部に渡り実験と一致した。

#### 5. 柱付耐震壁

せん断性状が卓越する壁については、既に申によって、J C I (日本コンクリート工学協会)選定<sup>4)</sup>の、マイクロモデル検証用供試体5体を用いた、解析が行われている。それによると、実験結果の最大耐力値と解析結果のそれとの比の平均が1.03, 変動係数が2.5%, また正負交番繰り返し载荷を受ける供試体については、履歴ループ面積の実験結果に対する平均は1.02, 変動係数は14.7%であり、力学的特性が実験に良く対応したと報告されている<sup>5)</sup>。表-2に供試体の一覧を解析による検討項目と併せて表示した。結果は1型壁およびボックス壁について、せん断破壊あるいは曲げ降伏後のせん断破壊を生じるタイプのものに対し、単調载荷だけでなく繰り返し载荷まで含めてその力学特性を精度良く追跡している。

6. まとめ  
平板実験から通常の耐震壁に至るまでWCOMRの適用は広範囲に渡ってその高精度・信頼性を示した。これは、モデルの開発が1軸応力下における実験結果に基づいた鉄筋、コンクリート、付着等の材料のモデル化からスタートしたこと、材料挙動の経路依存性とその数学的に美しい記述に多大な配慮が配られた点に由来する。著者らは今後、開口を有する壁部材等の実務に即した解析や、面外力を受ける壁、スラブ等の挙動を追跡すべく本構成則およびプログラムを基本とした、開発を行う所存である。

謝辞 本研究を進めるにあたり、貴重な御助言を頂きました東京大学岡村甫教授に感謝の意を表します。参考文献 1) 岡村甫: コンクリート構造の限界状態設計法, 共立出版, 1978 2) Izumo, J., Shin, H., Maekawa, K. and Okamura, H.: An Analytical Model for RC Panels Subjected to In-Plane Stresses, Concrete Shear in Earthquake, Elsevier Applied Science Publishers, 1992, pp. 206-215 3) Saatcioglu, M.: Hysteretic Shear Response of Low-Rise Walls, Concrete Shear in Earthquake, Elsevier Applied Science Publishers, 1992, pp. 105-114 4) 菅野俊介: 「耐震壁選定供試体」選定理由および実験データの概要, 第2回RC構造のせん断問題に対する解析的研究に関するコロキウム・解析モデル検証用供試体の実験データ集, 1983 5) Shin, H., M., Maekawa, K. and Okamura, H.: Analytical Models for Reinforced Concrete Shear Walls under Reversed Cyclic Loading, Concrete Shear in Earthquake, Elsevier Applied Science Publishers, 1992, pp. 289-298



供試体	f'c (MPa)	鉛直鉄筋		水平鉄筋	
		fy (MPa)	ρ (%)	fy (MPa)	ρ (%)
WALL1	25	435	0.8	425	0.25

図-4 Wall 1 諸元

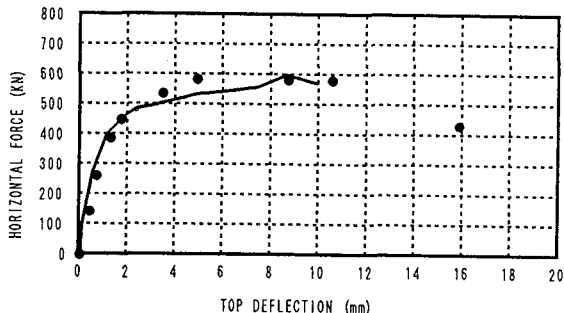


図-5 横柱による拘束を受けない壁のせん断挙動の追跡

表-2 解析を行ったマイクロ解析用選定供試体一覧

出典 実験者	試 験 体 総 数 断面, 加力方法	試験体名称	最大せん 断力 (t)	破 壊 形 式	解析による検討項目
青山 加藤 勝保	1層, 1型断面 片持梁型加力 ・押し同時, 繰返し	P4012	1.65	壁板のせん断圧縮破壊, 付帯ラ ーメンは破壊せず	1型断面壁のせん断破壊 の追跡
		P2012	1.41	壁板のせん断圧縮・すべり破壊, 付帯ラーメン柱のせん断破壊	付帯ラーメンの拘束効果 (柱断面小)
秋野, 杉田 福田 他	1層, 箱型断面 片持梁型加力 ・押しのみ, 繰返し	B1-4	1.39	フランジ壁の曲げ圧縮, ウェブ 壁のせん断圧縮・すべり破壊	箱型断面壁のせん断破壊 の追跡
		B1-2	1.72	ウェブ壁のせん断圧縮・すべり 破壊	せん断スパン比の影響 (λ/l= 0.8 → 0.4)
小野, 安達 他		W7502	6.8	曲げ降伏後の壁板のせん断圧縮 破壊, 柱のせん断破壊	1型断面壁の曲げ降伏後 のせん断破壊の追跡